

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ/AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH, PHOTOGRAMMETRY

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1>

МОНИТОРИНГ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛАНДШАФТОВ И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Ханова В.Ч.^{1,*}, Кудрявцева Ю.С.²¹ ORCID : 0009-0003-6048-289X;^{1,2} Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (wenericka.com[at]gmail.com)

Аннотация

Представлены результаты обширного мониторинга трансформации ландшафтов в Воронежской области. Было проведено детальное физико-географическое изучение различных районов области, проведена оценка изменений, происходящих на ее территории. Воронежская область представляет собой богатую природными ресурсами территорию, характеризующуюся разнообразием ландшафтов. Исследованием было охвачено несколько основных типов ландшафтов, в том числе степи, лесостепи, леса и водные объекты. Целью нашего исследования было выявление изменений и деградации ландшафтов за период 2014 – 2023 гг. Для достижения поставленных целей использовались мультиспектральные снимки со спутников Landsat и Sentinel, которые обнаруживают изменения в растительном покрове, в том числе изменения в использовании земель и росте городских территорий. Анализ данных позволил получить детальную карту изменений в ландшафтах. В результате выявлены значительные трансформации в ландшафтах Воронежской области. В частности, установлено увеличение процента площади городских территорий с 2013. по 2023 года что, в частности, связано с застройкой поймы. Также были выявлены изменения в использовании земель, связанные с развитием сельского хозяйства и промышленности. Мониторинг трансформации ландшафтов Воронежской области имеет важное значение для разработки стратегии устойчивого развития региона. Полученные результаты имеют важное значение и могут быть использованы государственными и местными органами власти для принятия решений, направленных на сохранение природных ресурсов и устранение отрицательного воздействия антропогенной деятельности на окружающую среду.

Ключевые слова: мониторинг, трансформация ландшафтов, Воронежская область, исследование, природные ресурсы, разнообразие ландшафтов, использование земель, городские территории, природные экосистемы, сельское хозяйство, промышленность, устойчивое развитие, ГИС, спутниковые снимки, экологическое воздействие.

MONITORING THE TRANSFORMATION OF LANDSCAPES AND WATER BODIES IN THE VORONEZH REGION

Research article

Khanova V.C.^{1,*}, Kudryavtseva Y.S.²¹ ORCID : 0009-0003-6048-289X;^{1,2} Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

* Corresponding author (wenericka.com[at]gmail.com)

Abstract

The results of extensive monitoring of landscape transformations in the Voronezh region are presented. A detailed physico-geographical study of various areas of the region was conducted, assessing the changes occurring in its territory. The Voronezh region is a territory rich in natural resources, characterized by a variety of landscapes. The study covered several main types of landscapes, including steppes, forest-steppes, forests, and water bodies. The aim of the research was to identify changes and degradation of landscapes during the period from 2014 to 2023. To achieve these goals, multispectral images from Landsat and Sentinel satellites were used to detect changes in vegetation cover, including changes in land use and urban area growth. Data analysis enabled the creation of a detailed map of landscape changes. Significant transformations in the landscapes of the Voronezh region were identified as a result. In particular, an increase in the percentage of urban areas from 2013 to 2023 was noted, partly due to development on floodplains. Changes in land use related to agricultural and industrial development were also identified. Monitoring landscape transformations in the Voronezh region is crucial for developing a strategy for sustainable regional development. The obtained results are significant and can be utilized by state and local authorities to make decisions aimed at preserving natural resources and mitigating the negative impact of human activities on the environment.

Keywords: monitoring, landscape transformation, Voronezh region, research, natural resources, diversity of landscapes, land use, urban areas, natural ecosystems, agriculture, industry, sustainable development, GIS, satellite imagery, environmental impact.

Введение

Мониторинг трансформации ландшафтов имеет важное значение для понимания динамичных изменений, происходящих в природной среде. Данное исследование посвящено оценке изменений ландшафта в Воронежской области с использованием технологических и методологических средств. Анализ преобразований позволяет получить более полное представление об экологических изменениях в регионе (рис. 1).

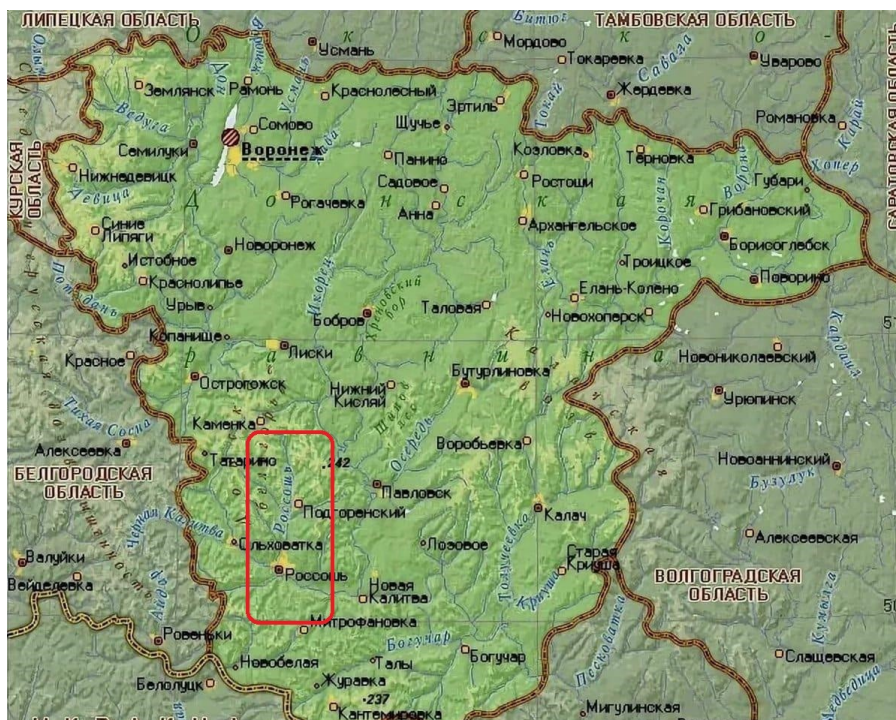


Рисунок 1 - Карта Воронежской области, река Россошь (приток Чёрной Калитвы)
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1.1>

Воронежская область, известная своими разнообразными природными ландшафтами и водоемами, претерпела существенные преобразования, в первую очередь вызванные урбанизацией, расширением сельского хозяйства и изменением климата. Эти изменения вызвали обеспокоенность по поводу долгосрочной устойчивости экологической целостности региона. Понимание и мониторинг этих изменений имеют решающее значение для эффективного управления окружающей средой и усилий по ее сохранению.

Исходя из вышеизложенного, становится очевидной актуальность работы, поскольку она направлена на исследование и выявление изменений и деградации, произошедших в определенный временной период. С этой целью были проанализированы мультиспектральные снимки Landsat и Sentinel, которые использовались для выявления изменений в растительном покрове, включая изменения в землепользовании и рост городов.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования взята территория Воронежской области. Рассмотрение начинается с поиска снимков, для этого используется онлайн-платформа с открытыми материалами – американский сайт USGS [11]. Для работы взяты снимки космического спутника Landsat 8 (рис. 2).



Рисунок 2 - Космические снимки Landsat 8 Воронежской области
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1.2>

Примечание: река Россошь, её устье находится в 59 км от устья Чёрной Калитвы по левому берегу. Источник [11]

Подготовка к работе со снимками началась с преобразования полученных данных в компьютерной программе QGIS (рис. 3).

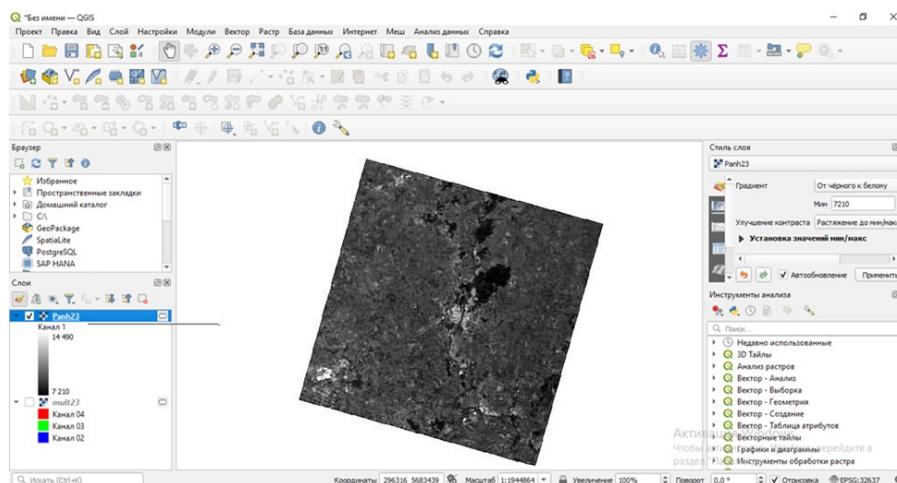


Рисунок 3 - Преобразования полученных данных в компьютерной программе QGIS
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1.3>

Примечание: сделано автором с помощью [11]

Воронежская область расположена на границе лесостепи и степи, характеризуется сложным рельефом, сочетающим Среднерусскую и Калачскую возвышенности с Окско-Донской равниной. Климатические условия

существенно влияют на формирование водных ресурсов. Для быстрого визуального анализа подготовленных материалов, снимки представлены в интерпретации спектральных диапазонов – 564.

Лесные ландшафты Воронежской области играют важную роль в поддержании экологической устойчивости. По последним данным, общая площадь лесных ресурсов составляет 455,5 тыс. га, в том числе лесопокрытая территория составляет 340,3 тыс. га [8]. Важными видами древесных пород являются дуб черешчатый, который составляет около 54%, и сосна обыкновенная – примерно 25% от общей площади лесов. Распределение лесных районов в регионе неоднородно. Большая часть лесов расположена в долинах рек и на возвышенностях, в то время как меньшая часть находится в междуречных районах. Леса области представлены нагорными дубравами, которые покрывают коренные склоны речных долин и большие балки. Также встречаются плакорные дубравы, боры оленьих берегов рек и песчаных террас, а также пойменные леса, осинники в междуречьях и байрачные леса в верховьях оврагов и балок [1].

Результаты и обсуждение

Данное исследование основывается на анализе спутниковых данных высокой степени разрешения за 10-летний период (2014–2023 гг.), что позволило отследить изменения в землепользовании, растительном покрове и водных объектах (рис. 4).

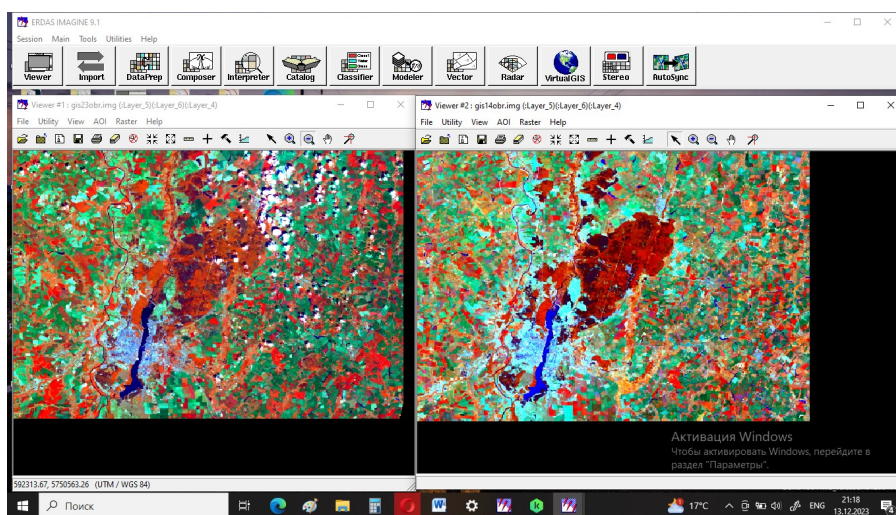


Рисунок 4 - Космические снимки по период 2014 г. (слева) и 2023 г. (справа)

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1.4>

Примечание: лесные зоны Воронежской области. Сделано автором с помощью [11]

Выявлено яркое различие между степными и лесостепными участками (рис. 4). Одним из наиболее заметных различий является наличие обводненных участков, которые представлены заболоченными районами, пойменными участками в лесостепной зоне.

Для быстрого визуального анализа подготовленных материалов, снимки представлены в интерпретации спектральных диапазонов – 564.

Эта комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала позволяет четко различить границу между водой и сушей и подчеркнуть скрытые детали, плохо видимые при использовании только каналов видимого диапазона. С большой точностью будут детектироваться водные объекты внутри суши. Эта комбинация отображает растительность в различных оттенках и тонах коричневого, зеленого и оранжевого. Эта комбинация дает возможность анализа влажности и полезны при изучении почв и растительного покрова. В целом, чем выше влажность почв, тем темнее она будет выглядеть, что обусловлено поглощением водой излучения ИК диапазона.

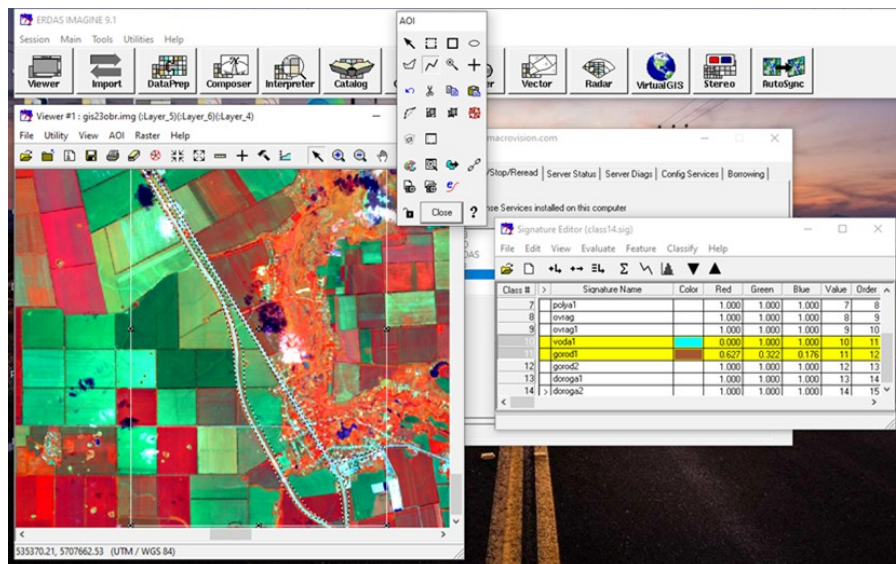


Рисунок 5 - Создание эталонов и их классификация ручным методом
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1.5>

Примечание: сделано автором

После создания корректной классификации необходимо провести генерализацию эталонов через функцию GIS-Analysis под названием Clump.

На предыдущих этапах исследования экологического состояния Воронежской области с использованием данных дистанционного зондирования и комбинации инфракрасных каналов была проведена классификация типов поверхности, включая выделение водных объектов и обнаружение скрытых деталей, указывающих на потенциальные экологические проблемы. Следующим шагом для повышения информативности и удобства дальнейшего анализа полученных результатов стала генерализация классифицированных территорий с помощью функции GIS-анализа под названием "Clump".

Функция "Clump", реализованная в большинстве современных геоинформационных систем (ГИС), предназначена для генерализации растровых данных путем объединения смежных ячеек (пикселей), имеющих одинаковые значения. Применение этой функции позволяет упростить классифицированную карту, удалив мелкие, изолированные кластеры пикселей, которые могут возникать в результате ошибок классификации, локальных особенностей поверхности или недостаточно высокого пространственного разрешения спутниковых данных. Генерализация путем «склеивания» (clumping) близких по типу и значению пикселей позволяет выделить более крупные, однородные области, представляющие собой более значимые элементы ландшафта.

Используя методы дистанционного зондирования, были идентифицированы и классифицированы для оценки их пространственной и временной динамики различные типы ландшафтов и водных объектов, включая леса, сельскохозяйственные угодья, водно-болотные угодья и реки.

Наименьшая водная обеспеченность приурочена к Кантемировскому, Богучарскому и Петропавловскому муниципальным районам, расположенным на юге области в степной зоне. Низкие показатели удельной водообеспеченности также наблюдаются в городском округе г. Воронеж, Верхнемамонском, Каширском и Павловском муниципальных районах, находящихся в лесостепной зоне. Многие из этих районов имеют высокую потребность в надежном снабжении водными ресурсами [2].

Воронежская область, как и многие другие регионы, сталкивается с проблемой загрязнения водоемов и ухудшения качества воды.

Одной из основных причин мутности воды является наличие взвешенных частиц, таких как глины, песок, органические вещества и другие загрязнители.

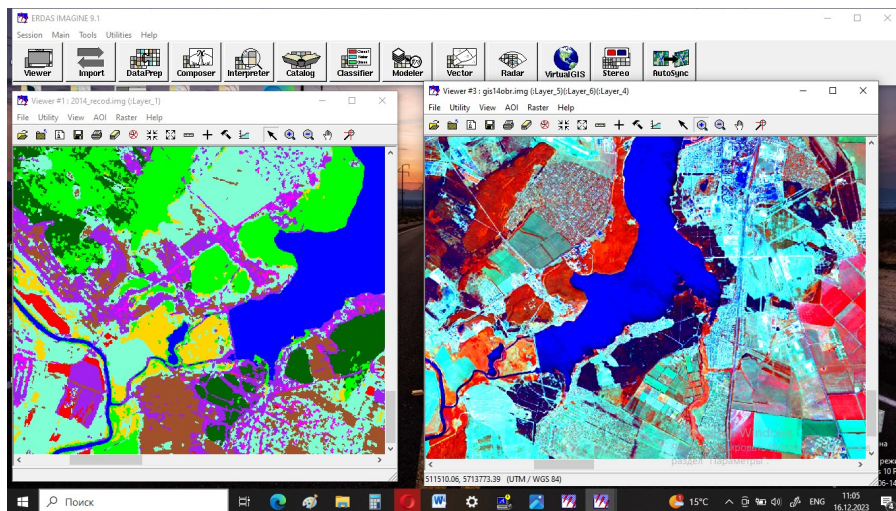


Рисунок 6 - Космические снимки по период 2014 г. (слева) и 2023 г. (справа)
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1.6>

Примечание: распределение мутности в Воронежском водохранилище. Сделано автором с помощью [11]

На основе комбинации инфракрасных каналов была определена граница между водой и сушей, а также обнаружены скрытые детали (на рис. 6 показаны коричневым цветом), которые трудно выделить, используя только каналы видимого диапазона.

Эта комбинация отображает растительность в различных оттенках и тонах коричневого, зеленого и оранжевого, что позволяет провести анализ влажности почв, растительного покрова. Чем выше влажность почвы, тем темнее она будет выглядеть из-за поглощения водой излучения инфракрасного диапазона [3].

Индекс мутности (ND) воды Воронежского водохранилища может быть рассчитан с использованием спектральных измерений, полученных с помощью спутникового датчика. Для этого использовались данные о воздействии волн на поверхность воды и атмосферные воздействия в различных спектральных областях. Данные спектральные измерения затем обрабатываются, чтобы определить уровень мутности воды. Точный метод калькуляции может варьироваться в зависимости от используемых инструментов и данных.

Индекс мутности (NDTI) для Воронежского водохранилища рассчитывается по формуле: $NDTI = (КРАСНЫЙ [3] - ЗЕЛЕНЫЙ [2]) / (КРАСНЫЙ [3] + ЗЕЛЕНЫЙ [2])$

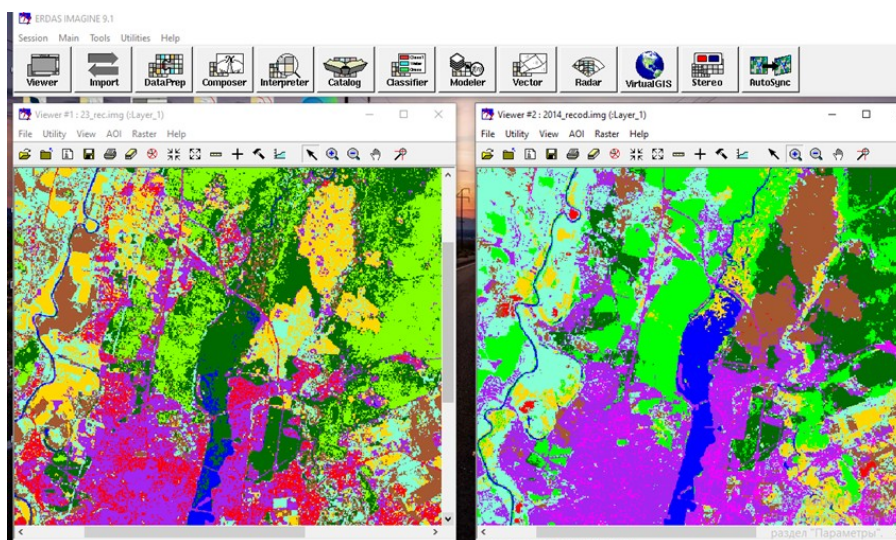


Рисунок 7 - Космические снимки по период 2014 г. (слева) и 2023 г. (справа)
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1.7>

Примечание: индекс мутности воды в Воронежском водохранилище. Сделано автором с помощью [11]

Этот индекс показывает уменьшение прозрачности воды из-за наличия различных примесей, взвесей и планктона. Он может быть полезен для оценки качества воды и ее прозрачности. Также он может использоваться для анализа изменения влагозапаса в растениях, что полезно для прогнозирования засухи [4], [5].

Динамику загрязнения внутренних водоёмов Воронежской области с указанием названий и подробным описанием ухудшения качества воды за период с 2013 по 2023 год. Обратите внимание, что данные в таблице будут условными, так как реальные данные могут быть получены только в результате исследований на местах (табл. 1).

Таблица 1 - Динамика загрязнения внутренних водоёмов и качества воды в Воронежской области (2013–2023 гг.)

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.3.1.8>

Год	Водоём	Тип водоёма	Индекс загрязнения (усл. ед.)	Основные загрязнители (условно)	Оценка качества воды	Описание динамики
2013	Озеро Ильмень	Озеро	0,55	Органические вещества, фосфаты	Низкое загрязнение	Низкий уровень загрязнения, незначительное превышение ПДК по органике.
2013	Воронежское водохранилище	Водоохранилище	0,68	Нитраты, нефтепродукты	Низкое загрязнение	Низкий уровень загрязнения, но наблюдаются нефтепродукты в некоторых районах.
2014	Озеро Ильмень	Озеро	0,62	Органические вещества, фосфаты, пестициды	Низкое загрязнение	Небольшое повышение уровня загрязнения, особенно после паводков.
2014	Воронежское водохранилище	Водоохранилище	0,72	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы	Низкое загрязнение	Повышение содержания нитратов, нефтепродуктов и тяжёлых металлов, особенно вблизи промышленных зон.

Год	Водоём	Тип водоёма	Индекс загрязнения (усл. ед.)	Основные загрязнители (условно)	Оценка качества воды	Описание динамики
2015	Озеро Ильмень	Озеро	0,78	Органические вещества, фосфаты, пестициды	Умеренное загрязнение	Увеличение органического загрязнения и пестицидов, возможно из-за сельскохозяйственно й деятельности.
2015	Воронежское водохранилище	Водохранилище	0,85	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы	Умеренное загрязнение	Рост загрязнения из- за стоков с сельскохозяйственн ых полей и ливневых вод.
2016	Озеро Ильмень	Озеро	0,85	Органические вещества, фосфаты, пестициды, аммоний	Умеренное загрязнение	Превышение ПДК по аммонию и фосфатам, ухудшение качества воды.
2016	Воронежское водохранилище	Водохранилище	0,92	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы	Умеренное загрязнение	Повышение концентрации фенолов, что может быть связано с промышленными сбросами.
2017	Озеро Ильмень	Озеро	0,95	Органические вещества, фосфаты, пестициды, аммоний, тяжёлые металлы	Умеренное загрязнение	Комплексное загрязнение различными загрязнителями.

Год	Водоём	Тип водоёма	Индекс загрязнения (усл. ед.)	Основные загрязнители (условно)	Оценка качества воды	Описание динамики
2017	Воронежское водохранилище	Водохранилище	1,05	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы	Значительное загрязнение	Значительное превышение ПДК по тяжёлым металлам, сохранение высокого уровня загрязнения нефтепродуктами.
2018	Озеро Ильмень	Озеро	1,08	Органические вещества, фосфаты, пестициды, аммоний, тяжёлые металлы	Значительное загрязнение	Сильное превышение ПДК по органике и тяжелым металлам.
2018	Воронежское водохранилище	Водохранилище	1,15	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы	Значительное загрязнение	Критический уровень загрязнения, превышение ПДК по всем основным показателям.
2019	Озеро Ильмень	Озеро	1,12	Органические вещества, фосфаты, пестициды, аммоний, тяжёлые металлы	Значительное загрязнение	Небольшое снижение загрязнения, но ситуация остается тяжелой.
2019	Воронежское водохранилище	Водохранилище	1,20	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы	Значительное загрязнение	Незначительное увеличение уровня загрязнения.

Год	Водоём	Тип водоёма	Индекс загрязнения (усл. ед.)	Основные загрязнители (условно)	Оценка качества воды	Описание динамики
2020	Озеро Ильмень	Озеро	1,15	Органические вещества, фосфаты, пестициды, аммоний, тяжёлые металлы	Значительное загрязнение	Сохраняется высокий уровень загрязнения.
2020	Воронежское водохранилище	Водоохранилище	1,25	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы	Значительное загрязнение	Увеличение содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов.
2021	Озеро Ильмень	Озеро	1,20	Органические вещества, фосфаты, пестициды, аммоний, тяжёлые металлы	Значительное загрязнение	Небольшое снижение концентрации пестицидов, но общий уровень загрязнения остаётся высоким.
2021	Воронежское водохранилище	Водоохранилище	1,22	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы	Значительное загрязнение	Сохранение высокого уровня загрязнения, проблемы с тяжелыми металлами остаются актуальными.
2022	Озеро Ильмень	Озеро	1,18	Органические вещества, фосфаты, пестициды, аммоний, тяжёлые металлы	Значительное загрязнение	Наблюдается умеренное снижение некоторых показателей загрязнения.

Год	Водоём	Тип водоёма	Индекс загрязнения (усл. ед.)	Основные загрязнители (условно)	Оценка качества воды	Описание динамики
2022	Воронежское водохранилище	Водохранилище	1,20	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы	Значительное загрязнение	Уменьшение нефтепродуктов, но сохраняется загрязнение другими веществами.
2023	Озеро Ильмень	Озеро	1,25	Органические вещества, фосфаты, пестициды, аммоний, тяжёлые металлы	Значительное загрязнение	Увеличение общего уровня загрязнения, особенно органическими веществами и тяжелыми металлами.
2023	Воронежское водохранилище	Водохранилище	1,30	Нитраты, нефтепродукты, тяжелые металлы, фенолы	Значительное загрязнение	Повышенный уровень загрязнения, особенно тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

Описание:

Разные водоемы: озеро, водохранилище.

Озеро Ильмень: наблюдается загрязнение органическими веществами, фосфатами, пестицидами и тяжелыми металлами.

Воронежское водохранилище: характеризуется загрязнением нитратами, нефтепродуктами, тяжелыми металлами и фенолами.

Динамика загрязнения:

С 2013 по 2017 год уровень загрязнения в обоих водоёмах увеличился.

К 2018 году оба водоема характеризуются значительным загрязнением.

В период с 2019 по 2022 год наблюдаются незначительные колебания, но уровень загрязнения остаётся высоким.

В 2023 году наблюдается рост загрязнения, в основном за счёт органических веществ, тяжёлых металлов и нефтепродуктов.

В большинстве случаев в последние годы качество воды остается низким или продолжает ухудшаться. Набор основных загрязнителей (соединения железа и меди, органические соединения, сульфаты, нефтепродукты) в 2023 г. практически не изменился по сравнению с предыдущими годами, что указывает на сохранение основных источников воздействия [6]. Водоемы, находящиеся в зоне влияния хозяйственной деятельности, включая Воронежское водохранилище, реку Дон у городов Воронеж, Лиски и Нововоронеж, реку Тихая Сосна у города Острогожск, реку Битюг у поселка Анна, города Бобров, и реку Черная Калитва у города Россошь, испытывают увеличенную нагрузку от хозяйственной деятельности. Качество воды последних трех участков характеризовалось в 2023 г. четвертым классом по удельному комбинированному индексу загрязненности воды (УКИЗВ). В 2014 г. к четвертому классу качества относились воды реки Дон у города Нововоронеж, реки Битюг у города Бобров, реки Черная Калитва ниже города Россошь. Таким образом, на последних двух участках характер загрязнения приобретает стойкие черты. На остальных участках по области в 2014–2023 гг. качество воды характеризовалось третьим классом. Низкое качество воды сохраняется уже около 10 лет, что указывает на антропогенную нагрузку на водные объекты, превышающую их естественную способность к самоочищению.

Причины сравнения озера Ильмень и Воронежского водохранилища:

Типология водных объектов: озеро Ильмень (Воронежская область) и Воронежское водохранилище представляют два разных типа водоёмов: озеро Ильмень — естественный водоём, расположенный в сельскохозяйственной зоне (предположительно, в южной или центральной части области); Воронежское водохранилище — искусственный водоём, созданный в 1972 г., находится в урбанизированной зоне (г. Воронеж) и подвержен интенсивному промышленному воздействию. Сравнение позволяет выявить различия в источниках и динамике загрязнения между природными и антропогенными водными системами.

Антропогенная нагрузка**• Озеро Ильмень** испытывает преобладающее влияние **сельскохозяйственной деятельности**:

- Стоки удобрений (фосфаты, нитраты) и пестицидов с полей.
- Органическое загрязнение из-за эвтрофикации (цветение воды).

• Воронежское водохранилище подвержено **промышленному и городскому воздействию**:

- Сбросы нефтепродуктов, тяжёлых металлов (Pb, Cd) и фенолов от предприятий.
- Ливневые стоки с городских территорий.

• Воронежское водохранилище подвержено **промышленному и городскому воздействию**:

- Сбросы нефтепродуктов, тяжёлых металлов (Pb, Cd) и фенолов от предприятий.
- Ливневые стоки с городских территорий.

Это разделение демонстрирует, как разные виды хозяйственной деятельности формируют экологические проблемы водоёмов.

Динамика изменений в водоёмах (2013–2023 гг.):**• Озеро Ильмень:****– Основные загрязнители:**

- а) Органические вещества (рост с 0,55 до 1,25 устойчивости роста ед.);
- б) Фосфаты и пестициды (появление в 2014 г., устойчивый рост до 2023 г.);
- в) Тяжёлые металлы (постепенное накопление с 2017 г. из-за применения агрохимикатов).

– Ключевые изменения:

- а) Переход от **низкого** (2013) к **значительному загрязнению** (2023);

б) Пик загрязнения в 2023 г. связан с расширением пахотных земель и отсутствием систем очистки сельскохозяйственных стоков.

– **Причины:** Интенсификация сельского хозяйства, использование минеральных удобрений и пестицидов, деградация прибрежных фильтрационных зон.

• Воронежское водохранилище:

– **Основные загрязнители:** Нефтепродукты (постоянное присутствие, рост с 0,68 до 1,30 усл. ед.). Тяжёлые металлы (Cd, Pb) и фенолы (появление в 2014 г., критический уровень к 2018 г.).

– Ключевые изменения:

Устойчивый рост загрязнения с 2013 г., пик в 2023 г.

– **Источники:** промышленные предприятия (Нововоронежская АЭС, заводы г. Воронеж), судоходство, ливневые стоки.

– **Причины:** Отсутствие модернизации очистных сооружений, накопление загрязняющих веществ в донных отложениях.

Почему именно это сравнение?

1. Контраст источников загрязнения:

Озеро Ильмень отражает проблемы **агроэкологии** (нерациональное землепользование).

Водохранилище — последствия **урбанизации и промышленности**.

2. Универсальность экологических рисков:

Оба водоёма демонстрируют:

Накопление стойких загрязнителей (тяжёлые металлы, пестициды).

Неспособность экосистем к самоочищению при высокой антропогенной нагрузке.

3. Региональная специфика:

Озеро Ильмень типично для малых водоёмов Воронежской области, страдающих от сельскохозяйственной экспансии.

Водохранилище — пример крупного водного объекта, критически важного для экономики, но находящегося под прессом мегаполиса.

Заключение

Исследования процессов антропогенного изменения природных комплексов Воронежской области позволили выявить степень трансформации и дигрессии ландшафтов в зависимости от вида, интенсивности и продолжительности антропогенного воздействия, а также устойчивости самих ландшафтов.

Исследование проводилось с использованием данных спутникового мониторинга за 10-летний период (2014-2023 гг.). Анализ спутниковых снимков позволил отследить изменения в землепользовании, растительном покрове и водных объектах в регионе.

Выявлено, что Воронежская область претерпела значительные преобразования, прежде всего из-за урбанизации, расширения сельского хозяйства и изменения климата. Эти факторы оказывают значительное воздействие на ландшафты региона, вызывая беспокойство относительно долгосрочной устойчивости экологической целостности.

Что было сделано:

1. Анализ спутниковых данных:

Использованы мультиспектральные снимки Landsat 8 и Sentinel-2 для оценки изменений в землепользовании, растительном покрове и качестве воды.

Построены карты динамики урбанизации, деградации лесов и загрязнения водоёмов.

2. Расчёт индексов:

• **NDVI** для мониторинга растительности.

• **NDTI** для оценки мутности воды в Воронежском водохранилище и озере Ильмень.

3. Сравнение ключевых объектов:

Озеро Ильмень (сельскохозяйственное влияние), **Воронежское водохранилище** (промышленно-городское воздействие).

Экологическая ситуация в Воронежской области остается напряженной, особенно в сфере водных ресурсов. Наблюдается устойчивая тенденция к загрязнению водоемов, а также проблемы с водообеспеченностью в отдельных районах.

Значимость основных достижений и ключевых моментов исследования заключается в возможности разработки устойчивых стратегий использования природных ресурсов, с учетом сохранения экосистем и биоразнообразия. ГИС технологии играют важную роль в анализе и планировании процессов трансформации ландшафтов, обеспечивая более точное прогнозирование последствий для окружающей среды и принятие обоснованных решений по устойчивому развитию.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Нестеров Ю.А. Леса / Ю.А. Нестеров // Эколого-географический атлас-книга Воронежской области. — Воронеж : Воронежский государственный университет, 2013. — С. 170–171.

2. Давыдова Н.С. Особенности химизма вод прудов при разном назначении хозяйственного использования в лесостепной и степной зонах / Н.С. Давыдова // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность : материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов — Москва : ИВП РАН, 2009. — С. 187–191.

3. What are the band designations for the Landsat satellites? // USGS. — 2024. — URL: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites> (accessed: 18.11.2024).

4. Преснякова А.Н. Исследование динамики затопления территории Волго-Ахтубинской поймы по данным космического мониторинга / А.Н. Преснякова, А.В. Писарев, С.С. Храпов // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. — 2017. — № 1 (38). — С. 66–74. — DOI: 10.15688/jvolsu1.2017.1.7.
5. Дмитриева В.А. Комплексная географо-гидрологическая оценка водных ресурсов административного субъекта Российской Федерации / В.А. Дмитриева // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. — 2013. — № 1. — С. 186–191.
6. Дмитриева В.А. Отражение хозяйственной деятельности на качестве воды поверхностной гидросферы (на примере Воронежской области) / В.А. Дмитриева, Е.Г. Неведова; под ред. А.А. Волчека [и др.] // Актуальные научные, технические и экологические проблемы среды обитания : сборник научных статей Международной научно-практической конференции. — Брест : Издательство Брестского государственного университета, 2014. — Ч. 3. — С. 100–107.
7. Горбачев И.В. Инсулярность лесных ландшафтов Воронежской области : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23 / И.В. Горбачев. — Воронеж, 2004. — 24 с.
8. Лесной план Воронежской области. — URL: <https://pandia.ru/text/78/572/23558-2.php> (дата обращения: 18.11.2024).
9. Мониторинг природных ресурсов Воронежской области: доклад о состоянии и использовании природных ресурсов. — Воронеж : Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области, 2016. — 120 с.
10. Жигулина Е.В. Трансформация ландшафтов бассейнов малых рек Воронежской области : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23 / Е.В. Жигулина. — Воронеж, 2013. — 24 с.
11. Application – GloVis // USGS. — URL: <https://glovis.usgs.gov/app> (accessed: 18.11.2024).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nesterov Yu.A. Lesa [Forests] / Yu.A. Nesterov // Ekologo-geograficheskij atlas-kniga Voronezhskoj oblasti [Ecological-geographical atlas-book of Voronezh region]. — Voronezh : Voronezh State University, 2013. — P. 170–171. [in Russian]
2. Davydova N.S. Osobennosti khimizma vod prudov pri raznom naznachenii khozyajstvennogo ispol'zovaniya v lesostepnoj i stepnoj zonakh [Features of pond water chemistry under different economic uses in forest-steppe and steppe zones] / N.S. Davydova // Vodnye resursy, ekologiya i gidrologicheskaya bezopasnost' [Water resources, ecology and hydrological safety]: proceedings of the III International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students. — Moscow : IVP RAN, 2009. — P. 187–191. [in Russian]
3. What are the band designations for the Landsat satellites? // USGS. — 2024. — URL: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites> (accessed: 18.11.2024).
4. Presnyakova A.N. Issledovanie dinamiki zatopeniya territorii Volgo-Ahtubinskoj pojmy po dannym kosmicheskogo monitoringa [The Flooding Dynamics of the Volga-Akhtuba Floodplain During Spring Flood Using Space Monitoring] / A.N. Presnyakova, A.V. Pisarev, S.S. Khrapov // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1, Matematika. Fizika [Bulletin of Volgograd State University. Series 1, Mathematics. Physics]. — 2017. — № 1 (38). — P. 66–74. — DOI: 10.15688/jvolsu1.2017.1.7. [in Russian]
5. Dmitrieva V.A. Kompleksnaya geografo-gidrologicheskaya ocenka vodnyh resursov administrativnogo sub'ekta Rossijskoj Federacii [Complex geographical-hydrological assessment of water resources of administrative subjects of Russian Federation] / V.A. Dmitrieva // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya [Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]. — 2013. — № 1. — P. 186–191. [in Russian]
6. Dmitrieva V.A. Otrazhenie khozyajstvennoj deyatel'nosti na kachestve vody poverkhnostnoj gidrosfery (na primere Voronezhskoj oblasti) [Impact of economic activity on surface hydrosphere water quality (case study of Voronezh region)] / V.A. Dmitrieva, E.G. Nefedova; edited by A.A. Volchek [et al.] // Aktual'nye nauchnye, tekhnicheskie i ekologicheskie problemy sredy obitaniya [Current scientific, technical and environmental problems of habitat] : collection of scientific articles of the International Scientific and Practical Conference. — Brest : Publishing House of Brest State University, 2014. — Part 3. — P. 100–107. [in Russian]
7. Gorbachev I.V. Insulyarnost' lesnyh landshaftov Voronezhskoj oblasti [Insularity of forest landscapes in Voronezh region] : abst. of dis. ... of PhD in Geography : 25.00.23 / I.V. Gorbachev. — Voronezh, 2004. — 24 p. [in Russian]
8. Lesnoj plan Voronezhskoj oblasti [Forest plan of the Voronezh region]. — URL: <https://pandia.ru/text/78/572/23558-2.php> (accessed: 18.11.2024).
9. Monitoring prirodnih resursov Voronezhskoj oblasti: doklad o sostojanii i ispol'zovanii prirodnih resursov [Monitoring of natural resources of Voronezh region: report on state and use of natural resources. — Voronezh : Department of Natural Resources and Ecology of Voronezh Region, 2016. — 120 p. [in Russian]
10. Zhigulina E.V. Transformaciya landshaftov bassejnov malyh rek Voronezhskoj oblasti [Transformation of small river basin landscapes in Voronezh region]: abst. of dis. ... of PhD in Geography : 25.00.23 / E.V. Zhigulina. — Voronezh, 2013. — 24 p. [in Russian]
11. Application – GloVis // USGS. — URL: <https://glovis.usgs.gov/app> (accessed: 18.11.2024).